

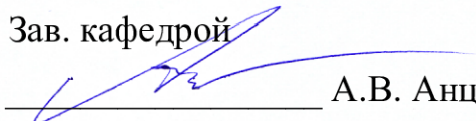
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Машиностроение и материаловедение»

Утверждено на заседании кафедры
«Машиностроение и материаловедение»
«30» января 2023 г., протокол № 6

Зав. кафедрой


_____ А.В. Анцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Специальные стали и сплавы»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы *магистратуры*

по направлению подготовки
22.04.02 Metallurgy

с направленностью (профилем)
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 220402-01-22

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний

Сержантова Галина Валериевна, доц. каф. МиМ, к.т.н., доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Лабораторная работа 1

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучить структуру легированных сталей различных классов, экспериментально установить влияние легирующих элементов на некоторые свойства стали.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Легированной сталью называется сталь, в которую при выплавке специально вводят элементы, изменяющие ее свойства и строение. Для легирования стали применяют, главным образом, элементы, расположенные близко к железу в периодической системе и поэтому растворяющиеся в нем. В основном в качестве легирующих элементов используют хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий, титан, алюминий, медь, реже – цирконий, ниобий.

Наиболее важным является влияние легирующих элементов на температуру полиморфных превращений железа, на механические свойства феррита, на карбидную фазу; они замедляют все диффузионные превращения в стали, измельчают зерно (кроме марганца), уменьшают содержание углерода в перлите (сдвигают влево точки диаграммы состояния «железо-цементит»), стабилизируют переохлажденный аустенит.

В настоящей работе на основе изучения микроструктуры экспериментально устанавливается:

- влияние легирующих элементов на величину зерна стали;
- влияние легирующих элементов на содержание углерода в перлите;

- влияние легирующих элементов на прокаливаемость стали.

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения работы необходимы: коллекция микрошлифов сталей 40, 40X, 40XH, микроскоп, спирт, вата, фильтровальная бумага, 4%-й спиртовой раствор азотной кислоты.

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Оценить размеры зерна перлита сталей 40, 40X, 40XH путем сравнения наблюдаемой структуры со стандартной шкалой.

Зарисовать наблюдаемые структуры и сопоставить исследуемые стали по величине зерна после одинаковой термической обработки – нормализации.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Исследование влияния легирующих элементов на величину зерна сталей 40, 40X и 40XH

Стали 40, 40X и 40XH, содержат одинаковое количество углерода (0,40%), но отличаются тем, что во второй дополнительно содержится 1% Cr, а в третьей – 1% Cr и 1% Ni.

Оценить размеры зерна перлита сталей 40, 40X, 40XH путем сравнения наблюдаемой структуры со стандартной шкалой.

Зарисовать наблюдаемые структуры и сопоставить исследуемые стали по величине зерна после одинаковой термической обработки – нормализации.

5.2 Исследование влияния легирующих элементов на содержание углерода в перлите (положение точки S на диаграмме состояния «железо-цементит»)

Этот раздел работы выполняется на отоженных образцах сталей 40, 40X, 40ХН и 40ХНМА. На представленных микроструктурах оценить визуально площадь, занимаемую перлитом. По данным оценки площади, зная, что в исследуемой стали содержится 0,4% С, определить содержание углерода в перлите исследуемых сталей из пропорций:

$$0,4\% - П\%;$$

$$X\% - 100\%,$$

тогда
$$X = 4 \cdot 100 / П,$$

где X – искомое содержание углерода в перлите исследуемой стали;

П – площадь, занимаемая перлитом в микроструктуре исследуемой стали.

Рассматривая последовательно микрошлифы сталей 40, 40X, 40ХН и 40ХНМА, можно получить представление о содержании углерода в перлите стали, содержащей разное количество легирующих элементов. Результаты исследований записать в таблицу 6.1.

Таблица 1

Марка стали	Ориентировочный, %				Содержание углерода в перлите данной стали, %
	С	Cr	Ni	Mo	

5.3 Исследование влияния легирующих элементов на прокаливаемость стали

Этот раздел работы выполняется путем исследования микроструктуры образцов, вырезанных из четырех зон по сечению валов диаметром 600 мм, изготовленных: один – из стали 40, другой – из стали 40ХНМА. Валы подвергали закалке с последующим высокотемпературным отпуском. Если в результате закалки образуется мартенситная структура, то после высокотемпературного отпуска структура в этой зоне превращается в сорбит отпуска. При недостаточной прокаливаемости стали, когда в данной зоне не образуется мартенсит, то после высокотемпературного отпуска структура останется состоящей из пластинчатого перлита и феррита. Такой подход позволяет путем изучения микроструктуры образцов, вырезанных из разных зон крупной детали, судить о прокаливаемости стали, из которой изготовлена деталь.

Для изучения микроструктуры установить образцы на микроскоп, сфокусировать изображение структуры, регулируя макро- и микровинтами, добиться отчетливого (резкого) изображения структуры. Последовательно изучить микроструктуру образцов коллекции. Результаты записать в таблицу 2. Выполнить зарисовки микроструктур.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название работы, ее цель и краткие теоретические сведения, ход работы, зарисовки всех исследованных микроструктур с заключениями, данные по таблицам 1 и 2, выводы о влиянии легирующих элементов на величину зерна, содержание углерода в перлите, прокаливаемость.

Таблица 2

Места вырезки образцов из диаметров 600 мм	Название микроструктуры образцов, вырезанных из вала, изготовленного из стали	
	40	40ХНМА
Поверхностная зона		

На расстоянии 100 мм от поверхности вала вглубь		
На расстояние 200 мм от поверхности вала вглубь		
Центр вала		

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет химический состав сталей на размер зерна?
2. Как влияют легирующие элементы на содержание углерода в перлите?
3. Как влияют легирующие элементы на прокаливаемость стали?

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Гуляев, А. П.](#) Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. — 7-е изд., перераб. И доп. — М.: Альянс, 2011. — 644 с - ISBN 978-5-903034-98-7 - 5 экз.
2. [Зубарев, Ю.М.](#) Современные инструментальные материалы : учебник для вузов / Ю. М. Зубарев .— СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2008. — 208 с.- ISBN 978-5-8114-0832-0 – 6 экз.
3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.
- Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - ISBN 978-5-7679-1056-4 – 21 экз.
4. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - ISBN 5-7038-2651-9 – 13 экз.
5. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справочник: в 3

- т. Т.2. Строение стали и чугуна/М.Л.Бернштейн [и др.] / под ред.: А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005 .— 528с. - *ISBN 5-89594-104-4* – 15 экз.
6. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - *ISBN 978-5-94178-220-8* – 5 экз.
7. Основы технологии и прогрессивные методы термической обработки : учеб. пособие для вузов / И. А. Гончаренко [и др.]; ТулГУ; Акад. проблем качества РФ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — 200 с. - *ISBN 978-5-7679-1858-4*. – 10 экз.
8. Ржевская, С. В. Материаловедение: учебник для вузов / С. В. Ржевская. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2006. — 424 с. — *ISBN 5-98704-149-X* – 3 экз.
9. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - *ISBN 978-5-91559-068-6* – 55 экз.

Лабораторная работа 2

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучить влияние различной степени переохлаждения при изотермической обработке и скорости непрерывного охлаждения на твердость и микроструктуру инструментальной углеродистой стали.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Меняя условия охлаждения стали от температур выше критической точки A_{C1} (для углеродистых сталей $A_{C1} = 727^{\circ}\text{C}$), можно существенно изменить ее структуру и свойства по сравнению с равновесным состоянием. Условия охлаждения определяются температурой и составом охлаждающей среды и размером сечения детали (образца). В практике используют *непрерывное охлаждение* в одной или нескольких охлаждающих средах, при котором температура изделия постоянно снижается, или *изотермическое охлаждение*, когда изделие переносится из печи с температурой нагрева в печь (ванну) с более низкой температурой, выдерживается там некоторое время ($\tau_{\text{из.выд.}}$), затем охлаждается на воздухе или в воде.

При температурах ниже A_{C1} переохлажденный аустенит (А) неустойчив и в интервале температур (A_{C1} - температура минимальной устойчивости аустенита) распадается диффузионным путем с образование перлитных (феррито-цементитных) структур. Строение и свойства продуктов распада зависят от степени переохлаждения ΔT , т.е. от температуры, при которой происходит превращение $A \rightarrow \Phi + \text{Ц}$. Чем ниже температура превращения, тем дисперснее продукты распада аустенита, тем больше твердость и прочность и меньше вязкость стали. Для определения структуры, образующейся в результате изотермического распада сталей используют *диаграммы изотермического распада аустенита (или С-образные диаграммы)*. Распад аустенита в условиях непрерывного охлаждения описывается с помощью *термокинетических диаграмм*.

Если распад происходит при переохлаждении $\Delta T \approx 15-30^{\circ}\text{C}$ (температура распада около 700°C), то образуется грубопластинчатый *перлит*, при $\Delta T \approx 50-100^{\circ}\text{C}$ (температура распада около 650°C) – *сорбит*, при $\Delta T \approx 150-223^{\circ}\text{C}$ (температура распада $550-500^{\circ}\text{C}$) – *троостит*. Все эти структуры имеют пластинчатое строение (чередующиеся пластинки феррита и цементита), меняется только межпластиночное расстояние S от ~ 1 мкм у перлита до $\sim 0,1$ мкм у троостита (рис. 1). Указать точные границы перехода от одной структуры к другой невозможно, поскольку толщина пластин изменяется

непрерывно. Пластинчатая структура перлита и сорбита разрешается при больших увеличениях светового микроскопа, троостита – при исследованиях с помощью электронного микроскопа. При непрерывном охлаждении указанные структуры образуются в углеродистой эвтектоидной стали в следующих условиях: перлит - при охлаждении стали из аустенитного состояния вместе с печью со скоростью несколько градусов в минуту, сорбит - при охлаждении на воздухе со скоростью несколько десятков градусов в минуту, троостит - при охлаждении в масле со скоростью несколько десятков градусов в секунду. Скорость охлаждения после окончания превращения не влияет на структуру и свойства.

В до- и заэвтектоидных сталях перлитному превращению предшествует выделение избыточных фаз – феррита и цементита, соответственно. На С-образной диаграмме это отражается дополнительными линиями. С понижением температуры превращения количество избыточной фазы (феррита или цементита) уменьшается, а количество эвтектоида – возрастает. При достаточно больших переохлаждениях выделения избыточных фаз вообще подавляются и образуется *квазиэвтектоидная* структура.

Твердость и прочность стали прямо пропорциональна величине суммарной поверхности раздела между ферритом и цементитом, поэтому с увеличением степени дисперсности ферритно-цементитной структуры, т.е. с понижением температуры ее образования, твердость, пределы прочности, текучести и выносливости возрастают. Относительное удлинение и относительное сужение наивысшие у сорбита. При переходе к трооститу характеристики пластичности (δ и ψ) уменьшаются.

Таблица 1 - Свойства продуктов диффузионного распада аустенита стали с 0,8 % С

Структура	S, мкм	T _{из.выд} , °C	HB
Перлит	0,5 – 1	700	~170 – 230
Сорбит	0,2 – 0,4	600	~230 – 330
Троостит	~ 0,1	500	~400

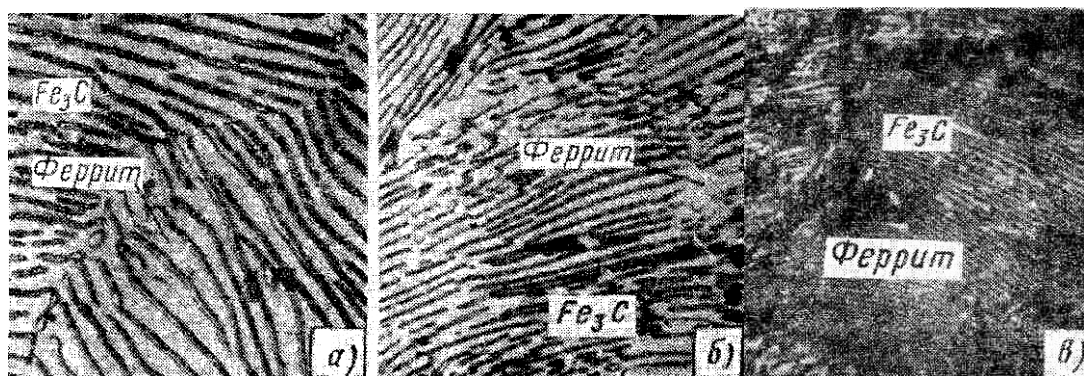


Рис. 1. Феррито - цементитные структуры разной дисперсности:

а – перлит ($\times 1500$); б – сорбит ($\times 5000$); в – троостит ($\times 15000$).

В температурном интервале ниже 500°C , но выше M_n ($\sim 200^{\circ}\text{C}$) протекает промежуточное (бейнитное) превращение и образуется игольчатая структура - *бейнит* (слабо пересыщенные углеродом иглы феррита с включениями зернистого цементита). Различают структуру верхнего и нижнего бейнита. В углеродистой стали *верхний бейнит* образуется в области температур $\sim 500-350^{\circ}\text{C}$ и имеет перистую морфологию. Частицы карбидов выделяются в виде изолированных узких частиц. *Нижний бейнит* образуется при температурах от 350°C до точки M_n и имеет игольчатое (пластинчатое) строение. Карбидные частицы располагаются в пластинках пересыщенной углеродом α – фазы. Образование верхнего бейнита вызывает снижение пластичности стали, по сравнению с продуктами распада аустенита в перлитной области; но твердость и прочность при этом изменяются мало. Нижний бейнит имеет более высокую твердость и прочность при сохранении сравнительно высокой пластичности.

Распад аустенита может происходить и при непрерывном охлаждении. В этом случае характер образующихся структур и свойства стали определяются скоростью охлаждения в данном охладителе относительно критической скорости охлаждения $V_{кр}$. Если скорость непрерывного охлаждения меньше критической, то формирующаяся структура зависит от температурного интервала, в котором происходит распад переохлажденного аустенита. Очевид-

но, что для углеродистых сталей получить бейнитную структуру путем непрерывного охлаждения невозможно.

При непрерывном охлаждении со скоростью выше критической (непрерывная закалка) переохлажденный А сохраняется вплоть до температуры M_n , и превращение аустенита завершается образованием метастабильной структуры – *мартенсит*. Образование мартенсита не связано с диффузией углерода, реализуется по сдвиговому механизму и приводит к увеличению объема, вследствие чего в детали (образце) возникают значительные внутренние напряжения, вызывающие коробление и растрескивание.

Мартенсит можно также получить, используя режим ступенчатой закалки. В этом случае образец охлаждают до температур, несколько выше M_n , выдерживают при этой температуре (время изотермической выдержки меньше инкубационного периода), и медленно охлаждают. Такой режим обеспечивает значительно меньший уровень внутренних напряжений, по сравнению с непрерывной закалкой, и используется для тонкостенных изделий сложной геометрии.

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

Образцы из стали У8, пять лабораторных термических печей с температурой 850, 700, 600, 500, 300 °С, твердомер ТК, микроскоп металлографический, станки для изготовления шлифов, диаграмма изотермического распада аустенита стали У10.

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Провести измерение твердости образцов в исходном состоянии;
2. Определить способы термической обработки и время инкубационного периода и время изотермической выдержки;
3. Провести термическую обработку и измерить твердость сталей.

4. Проанализировать изменения структуры и твердости стали в зависимости от режима охлаждения стали У8.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с краткими сведениями из теории и законспектировать их (не более 1 страницы текста).

2. Получить образцы стали У8. Измерить их твердость в исходном состоянии и полученный результат занести в таблицу 3.

3. Получить задание преподавателя на выполнение одного из режимов термической обработки в соответствии с графиком на рис.2. Перед проведением термической обработки:

- для изотермических обработок - при помощи диаграммы изотермического распада А стали У8 (рис.3) определить и занести в таблицу 3 время инкубационного периода и общее время изотермической выдержки;

- для обработок с непрерывным охлаждением - нанести на диаграмму изотермического распада А вектор охлаждения в соответствующей охлаждающей среде (использовать данные таблицы 2).

4. Выполнить термическую обработку:

- нагрев всех образцов до 850 °С в одной лабораторной печи;
- провести изотермическую обработку или непрерывное охлаждение образцов по заданным режимам в электропечах с различными температурами и в различных средах (расплавы свинца, расплавы селитры, масло, воздух, вода).

5. Охлажденные образцы зачистить с двух сторон, измерить твердость методом Роквелла (ГОСТ 9013-59). Результаты измерений занести в таблицу 3. В таблицу заносятся результаты всех видов термических обработок.

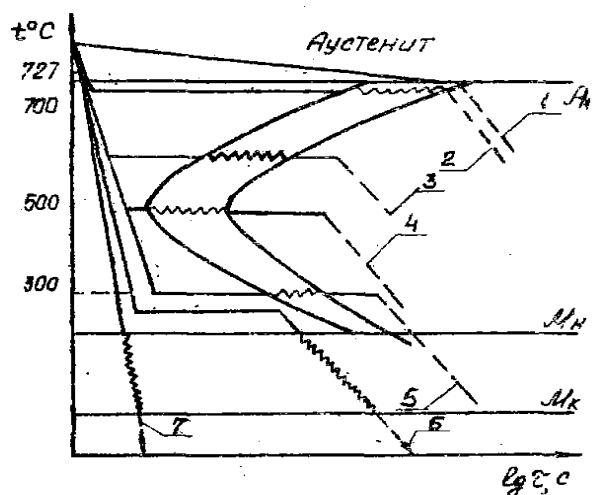


Рис. 2. Графики охлаждения обрабатываемых образцов:
1- нормализация; 2- изотермический отжиг; 3,4,5-изотермическая обработка на сорбит, троостит и бейнит, соответственно;
6- ступенчатая закалка; 7- непрерывная закалка.

6. Пользуясь данными табл. 1, по полученным значениям твердости определить предполагаемую микроструктуру.

7. Проанализировать изменения структуры и твердости стали в зависимости от режима охлаждения стали У8.

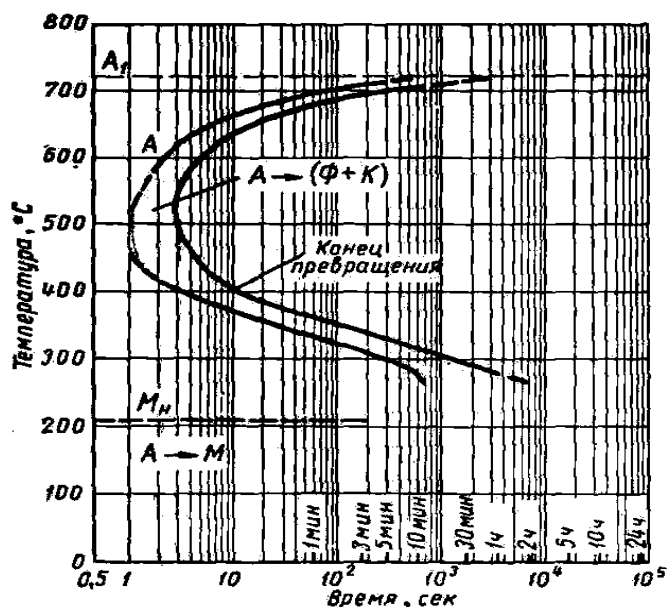


Рис.3. Диаграмма изотермического распада аустенита стали У8

Таблица 2 - Скорость охлаждения стали в некоторых закалочных сред

Закалочная среда	Скорость охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$) в интервале температур	
	650-550 $^{\circ}\text{C}$	300-200 $^{\circ}\text{C}$

Дистиллированная вода	250	200
Вода при температуре в °С: 18 74	600 30	270 200
Водный раствор уголекислоты – (10 %)	1200	300
Водный раствор едкого натра при 18 °С	1100	300
Водный раствор поваренной соли при 18 °С	70	200
Эмульсия масла в воде	150	30
Минеральное машинное масло	3	1
Воздух: спокойный под давлением	30	10

8. Сделать выводы по работе и подготовить отчет. В выводах по работе отразить:

- влияние температуры изотермического распада аустенита на твердость и структуру стали;
- влияние скорости непрерывного охлаждения на структуру и твердость стали;
- влияние времени изотермической выдержки на структуру и твердость стали.

Таблица 3 - Таблица экспериментальных данных

№ п/ п	Вид ТО	Структура и свойства	Охл. среда	Т _{охл.} ср, °С	Время инкубационного периода, с	τ _{из.выд.} , с.	Твердость		Микроструктура
							HR C	H B	
1	Нормализация		Воздух	20					
2	Изотермический отжиг		Печь-воздух	700-20					
3	Изотермическая обработка на Сорбит		Печь-воздух	600-20					
4	Изотермическая обработка на		Свинц. ванна - воздух	500-20					

	троостит								
5	Изотермическая за- калка на бейнит		Селит- ровая ванна - воздух	300- 20					
6	Ступенча- тая закалка на мартен- сит		Селит- ровая ванна - вода	300- 18					
7	Непрерыв- ная закалка		Вода	18					
8	Непрерыв- ная закалка		Масло	18					

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название работы и ее цель, краткие теоретические сведения, ход работы, результаты экспериментов в таблице 3, диаграмма изотермического распада аустенита стали У8 с нанесенными кривыми охлаждения, выводы о влиянии условий охлаждения на свойства инструментальных сталей с объяснением наблюдаемых явлений.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое инкубационный период?
2. Каков физический смысл С-образных линий диаграммы изотермического распада А?
3. Что общего имеют структуры перлит, сорбит, троостит?
4. В чем отличие структур перлит, сорбит, троостит?
5. Как и почему изменяется твердость в ряду структур: «перлит - сорбит - троостит»?
6. Можно ли получить структуру бейнита при непрерывном охлаждении углеродистой стали У8?

7. Как получить структуру мартенсита?
8. В чем отличие непрерывной и ступенчатой закалки?

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Гуляев, А. П.](#) Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. — 7-е изд., перераб. И доп. — М.: Альянс, 2011. — 644 с - ISBN 978-5-903034-98-7 - 5 экз.
2. [Зубарев, Ю.М.](#) Современные инструментальные материалы : учебник для вузов / Ю. М. Зубарев .— СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2008. — 208 с.- ISBN 978-5-8114-0832-0 – 6 экз.
3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.
- Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - ISBN 978-5-7679-1056-4 – 21 экз.
4. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - ISBN 5-7038-2651-9 – 13 экз.
5. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справочник: в 3 т. Т.2. Строение стали и чугуна/М.Л.Бернштейн [и др.] / под ред.: А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005 .— 528с. - ISBN 5-89594-104-4 – 15 экз.
6. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - ISBN 978-5-94178-220-8 – 5 экз.
7. Основы технологии и прогрессивные методы термической обработки : учеб. пособие для вузов / И. А. Гончаренко [и др.]; ТулГУ; Акад. проблем качества РФ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — 200 с. - ISBN 978-5-7679-1858-4. — 10 экз.

8. Ржевская, С. В. Материаловедение: учебник для вузов / С. В. Ржевская. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2006. — 424 с. — ISBN 5-98704-149-X — 3 экз.
9. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - ISBN 978-5-91559-068-6 — 55 экз.

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

– изучить микроструктуры инструментальных сталей, установить связь между термической обработкой, структурой и свойствами. На основании экспериментальных исследований сравнить устойчивость против нагрева (отпускоустойчивость) инструментальных углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Углеродистые инструментальные стали обладают небольшой прокаливаемостью и пониженной закаливаемостью. Их используют для резания с малой скоростью, ибо их твердость сильно снижается при нагреве выше 190–200°C. Применяются после закалки и низкотемпературного отпуска. Структура их состоит из отпущенного мартенсита и избыточного цементита (для заэвтектоидных). Легированные инструментальные стали также не обладают повышенной устойчивостью против отпуска и пригодны для резания с относительно небольшой скоростью. Однако обладают большей прокаливаемо-

стыю и закаливается, чем углеродистые инструментальные стали. Применяются после закалки и низкотемпературного отпуска. В таком состоянии структура их состоит из отпущенного мартенсита и легированного цементита.

Для быстрорежущих сталей характерной особенностью является высокая красностойкость, т. е. они обладают способностью сохранять свою структуру (мартенсит) и высокую твердость при повышенных температурах (до 600–620°C).

В литом состоянии быстрорежущая сталь содержит эвтектику, напоминающую ледебурит. Послековки и отжига эвтектика и карбиды измельчаются и равномерно распределяются в основной металлической массе, представляющей сорбитообразный перлит.

Для придания стали требуемых эксплуатационных свойств инструмент закаливается с температуры 1280–1290 °C. В результате образуется легированный вольфрамом и ванадием мартенсит, а также сохраняются нерастворенные карбиды и остаточный аустенит, который распадается при последующем отпуске. Структура быстрорежущих сталей после отпуска состоит из мартенсита и первичных карбидов.

Твердые сплавы относятся к металлокерамическим и для их изготовления порошки карбидов вольфрама и титана смешивают со связывающим веществом (кобальтом), прессуют в формах и тем самым придают изделию соответствующую внешнюю форму. Затем эти заготовки подвергают спеканию при высокой температуре (1500–2000°C). Твердость сплавов очень высокая – 89–90 HRA (72–74 HRC).

Твердые сплавы сохраняют эту твердость до 900–1000°C и используются для резания с повышенной скоростью и для обработки твердых материалов. Микроструктура вольфрамо-кобальтовых сплавов состоит из зерен WC (светлые участки), переплетенных прослойками (темные участки) твердого раствора WC в Co. Эти прослойки составляют непрерывную сетку, пронизывающую всю структуру сплава.

Микроструктура титано-вольфрамо-кобальтовых сплавов состоит из трех фаз: белые зерна с хорошо выраженными формами (карбиды вольфрама WC), округлые зерна – твердый раствор $TiC - WC$, черные (вытравленные) прослойки между карбидными зернами – твердый раствор на основе кобальта.

Углеродистые и легированные инструментальные стали сравнительно мало различаются по твердости, износоустойчивости и режущим свойствам. Все эти стали после окончательной термообработки имеют высокую твердость (60–64 HRC) и сохраняют ее при нагреве примерно до 200°C. При более высоком нагреве значительно усиливается укрупнение выделяющихся из мартенсита карбидных частиц и распад мартенсита, что понижает твердость и износостойкость. Поэтому углеродистые и легированные стали применяют для резания с небольшой скоростью, т.е. когда не происходит большого разогрева режущей кромки.

Быстрорежущие стали получают после закалки и отпуска (550–560°C) такую же высокую твердость (63–65 HRC), однако сохраняют эту высокую твердость и износостойкость при нагреве до 600–625°C. Вследствие этого быстрорежущие стали обладают значительно более высокими режущими свойствами, и их применяют для обработки материалов с большой скоростью резания и для снятия стружки большого сечения. Чем выше температура, до которой сталь сохраняет высокую твердость, тем выше ее режущие свойства. Красностойкость быстрорежущей стали обусловлена присутствующими в мартенсите легирующими элементами: вольфрамом, ванадием, хромом. Эти элементы выделяются из мартенсита лишь при повышенных температурах (500–600°C), а образуемые ими сложные карбиды мало укрупняются при этих температурах.

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения работы необходимы: образцы углеродистой, легированной и быстрорежущей стали, муфельные электрические печи, нагретые до температур 200, 400, 600 и 700°C, водяная баня, твердомер ТК, наждачное точило и шлифовальная бумага, щипцы.

4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Провести измерение твердости рассматриваемых образцов;
2. Провести термическую обработку образцов;
3. По результатам измерения твердости построить график: по оси ординат – твердость HRC, по оси абсцисс – температура нагрева, °C.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

На основании сведений, полученных от преподавателя, записать в таблицу 1 химический состав исследуемых образцов инструментальной стали.

Таблица 1

№ пп	Марка стали	Содержание элементов, %								Состояние образцов до термообработки
		C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Другие	
1	У8									
2	90Хф									
3	P18									

На одном-двух образцах каждой марки стали измерить твердость по Роквеллу (шкала С). Найти среднее арифметическое значение твердости и записать данные (для каждой марки стали) в таблицу 2.

Таблица 2

№ пп	Марка стали	Твердость до нагрева, HRC (непосредственно после закалки)	Средняя твердость HRC после нагрева в течение 1 часа при температуре, °C				
			100	200	400	600	700
1	У8						
2	90ХФ						
3	P18						

Образцы каждой марки стали (в количестве, указанном преподавателем) загрузить в водяную баню (температура 100°C) и в печи с температурами 200, 400, 600 и 700°C. Время выдержки 1 ч. После выдержки образцы охладить на воздухе.

Остывшие образцы зачистить на наждачном круге и наждачной бумагой до появления металлического блеска и измерить твердость по Роквеллу (шкала С). Результаты измерения, как среднее из двух-трех замеров твердости образцов, нагретых до данной температуры, записать в таблицу 2.

По результатам измерения твердости построить график: по оси ординат – твердость HRC, по оси абсцисс – температура нагрева, °C.

На один график нанести кривые всех трех изученных марок стали.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название работы и ее цель, краткие теоретические сведения, ход работы, результаты экспериментов по таблицам 1 и 2, график с нанесенными тремя кривыми зависимости твердости углеродистой, легированной и быстрорежущей сталей от температуры нагрева, выводы о влиянии нагрева на свойства закаленных инструментальных сталей с объяснением наблюдаемых явлений.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяется твердость сталей в зависимости от температуры отпуска?
2. Как влияют легирующие элементы на твердость исследуемых сталей?
3. Какие легирующие элементы повышают стойкость стали к отпуску?

8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Гуляев, А. П.](#) Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. — 7-е изд., перераб. И доп. — М.: Альянс, 2011. — 644 с - *ISBN 978-5-903034-98-7* - 5 экз.
2. [Зубарев, Ю.М.](#) Современные инструментальные материалы : учебник для вузов / Ю. М. Зубарев .— СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2008. — 208 с.- *ISBN 978-5-8114-0832-0* – 6 экз.
3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.
Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - *ISBN 978-5-7679-1056-4* – 21 экз.
4. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - *ISBN 5-7038-2651-9* – 13 экз.
5. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справочник: в 3 т. Т.2. Строение стали и чугуна/М.Л.Бернштейн [и др.] / под ред.: А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005 .— 528с. - *ISBN 5-89594-104-4* – 15 экз.
6. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый

Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - *ISBN 978-5-94178-220-8* – 5 экз.

7. Основы технологии и прогрессивные методы термической обработки : учеб. пособие для вузов / И. А. Гончаренко [и др.]; ТулГУ; Акад. проблем качества РФ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — 200 с. - *ISBN 978-5-7679-1858-4*. — 10 экз.

8. Ржевская, С. В. Материаловедение: учебник для вузов / С. В. Ржевская. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2006. — 424 с. — *ISBN 5-98704-149-X* — 3 экз.

9. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - *ISBN 978-5-91559-068-6* – 55 экз.